

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の電極を兼ねる変位可能な反射板と、
前記反射板に対向して配設された変位不可能な第2の電極と、

前記反射板と前記第2の電極の間に配設された、少なくとも1つの変位可能な中間電極とを有し、
前記各電極間に作用する静電気力により前記中間電極及び前記反射板を変位させることを特徴する光変調装置。

【請求項2】 少なくとも前記反射板に最も近い前記中間電極は、前記反射板に対向する面が導電性材料で形成されることを特徴とする請求項1記載の光変調装置。

【請求項3】 前記中間電極は誘電体からなることを特徴とする請求項1記載の光変調装置。

【請求項4】 前記中間電極は前記反射板より低い剛性を有することを特徴とする請求項1記載の光変調装置。

【請求項5】 前記中間電極はその両面に貫通する穴を有することを特徴とする請求項1記載の光変調装置。

【請求項6】 請求項1、2、4又は5記載の光変調装置の駆動方法であって、前記反射板の変位開始が、少なくとも前記反射板に最も近い前記中間電極の変位開始より遅れないように前記各電極への駆動電圧の印加タイミングを制御することを特徴とする光変調装置駆動方法。

【請求項7】 請求項3記載の光変調装置の駆動方法であって、前記第1の電極と前記第2の電極に対してのみ駆動電圧を印加することを特徴とする光変調装置駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光変調装置に係り、特に、静電気力によって反射板を変位させて光スイッチングを行う光変調装置に関する。

【0002】

【従来の技術】この種の光変調装置として、反射板を構成している片持ち梁を静電気力で撓ませることにより、光の反射方向を変えて光スイッチング（変調）を行うデバイスと、それを用いた変調システムが K. E. Petersen により1977年に発表されている（Applied Physics Letters, Vol. 31, No. 8, pp. 521~523）。同様の片持ち梁の反射板を用いる光変調装置は、例えば特公平7-56531号公報にも開示されている。また、特開平7-49460号公報には、円形の薄膜ダイアフラムで反射板を構成し、静電気力でダイアフラムを変形させ、その焦点を変える光変調装置が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】反射板を変位させて光の反射方向を変える光変調装置は、ディスプレイやプロジェクタなどに使用されている。このような応用では、反射板は表示画像の1つ1つの画素に対応付けられ、数十乃至数百 μm といった微小な大きさに形成される。

【0004】反射板の駆動方法には種々の方式があるが、反射板を変形させるための力以外の力は不要であること、変位量を比較的大きく取れること、及び、低消費電力であることから、静電気力が利用されることが多い。反射板を導電性部材で形成して電極とし、反射板の対向位置にさらに電極を設けて、それら電極間に電圧を印加(ON)することで静電気力を作用させて反射板を対向電極側に撓ませる。印加電圧を解除(OFF)すると、反射板は自身のバネ性で復帰する。したがって、電圧のON/OFFによって反射板を駆動することで光スイッチングができることになる。すなわち、反射板と対向電極とで静電アクチュエータを構成している。こういった静電アクチュエータを用いた光変調装置は、前記特公平7-56531号公報に開示されたもののほか種々提案されている。

【0005】ところで、反射板の変位量を大きくしたい場合には、反射板と対向電極との距離を大きくしなければならない。しかし、電極間に作用する静電気力の強さは電極間の距離の2乗に反比例するため、反射板と対向電極の距離を大きくすると駆動電圧の大幅な上昇を招くという問題があった。

【0006】また、反射板と対向電極との間に、反射板が変位振動するスペース（以下、ギャップと記す）が確保されるが、このギャップ内部の空気が反射板の変位に伴って圧縮されて圧力が上昇する現象（エアダンパ効果と呼ぶ）が起こる。このエアダンパ効果のために、ギャップ内が空気がない条件下で静的に計算して求めた反射板の変位量よりも、反射板の実際の変位量が小さくなってしまい、必要な変位量を得るための駆動電圧が上昇するという問題がある。このエアダンパ効果は、反射板の応答特性を損ねる要因にもなる。

【0007】また、反射板の変位量は反射板の厚さの3乗に反比例するため、反射板の変位量を確保しつつ駆動電圧を下げるためには、反射板の厚さも薄くする必要がある。しかし、反射板を薄くすると、均一な薄さに形成することが困難となり、また、特性を揃えるのが難しくなるため、反射板を薄くすることにも限界がある。

【0008】よって、本発明の1つの目的は、駆動電圧の上昇を招くことなく反射板の変位量を増加させることができ、あるいは、反射板の変位量を減少させることなく低電圧で駆動できる光変調装置を提供することにある。本発明のもう1つの目的は、エアダンパ効果を低減し、低電圧駆動が可能で、かつ、応答性の良い光変調装置を提供することにある。本発明のもう1つの目的は、駆動回路又は駆動方法の単純化が可能な光変調装置を提供することにある。これ以外の本発明の目的は以下の説明から明らかになろう。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明による光変調装置の基本的な特徴は、請求項1記載のように、第1の電極を兼ねる変位可能な反射板と、前記反射板に対向して配

設された変位不可能な第2の電極と、前記反射板と前記第2の電極の間に配設された、少なくとも1つの変位可能な中間電極とを有し、前記各電極間に作用する静電気力により前記中間電極及び前記反射板を変位させる構成にある。

【0010】本発明による光変調装置のもう1つの特徴は、請求項2記載のように、少なくとも反射板に最も近い中間電極は、反射板に対向する面が導電性材料で形成される構成にある。もう1つの特徴は、請求項3記載のように、中間電極が誘電体からなることである。もう1つの特徴は、請求項4記載のように、中間電極が前記反射板より低い剛性を有することである。もう1つの特徴は、請求項5記載のように、中間電極がその両面に貫通する穴を有することである。

【0011】また、本発明により提供される光変調装置駆動方法は、請求項6記載のように、請求項1、2、4又は5記載の光変調装置において、前記反射板の変位開始が、少なくとも前記反射板に最も近い前記中間電極の変位開始より遅れないように前記各電極への駆動電圧の印加タイミングを制御することである。もう1つの特徴は、請求項7記載のように、請求項3記載の光変調装置において、第1の電極と第2の電極に対してのみ駆動電圧を印加することである。

【0012】以上に述べた本発明の目的及び特徴と、その他の本発明の目的及び特徴について、実施の形態に関連して以下に具体的に説明する。

【0013】

【発明の実施の形態】本発明の理解を容易にするため、まず、本発明を適用し得る光変調装置の基本構成の一例を図1を参照して説明する。

【0014】図1は光変調装置の概略断面図である。図1において、反射板1は固定支持部9で電極基板3に固定され、電極基板3の凹部を塞ぐ状態に保持される。反射板1は電極も兼ねるもので、例えば薄い梁の上面に反射面と電極として作用する金属層を形成したものであったり、導電性を有する材質で一体的に形成されるものである。電極基板3の凹部の底には、反射板1と対向する対向電極2が設けられ、対向電極2と反射板1の間にギャップ8が形成される。対向電極2と反射板1は静電アクチュエータを構成する。

【0015】反射板1は、電極基板3とは別個に作られ、後で電極基板3と接合される場合と、製膜プロセスや犠牲層プロセス等によって電極基板3に反射板1が積層される場合とがある。

【0016】反射板1と対向電極2の間に電圧が印加されない時（電圧OFF時）には、図1（a）に示すように、反射板1は対向電極2とほぼ平行な状態であり、入射光4は反射板1により反射光5のように反射される。

【0017】一方、図示しない駆動回路から反射板1と対向電極2の間に電圧が印加された時（電圧ON時）に

は、反射板1と対向電極2の間に静電気による吸引力が作用する。反射板1は薄く作られているので、その静電気力によって反射板1は対向電極2側へ変位し、図1

（b）に示すような状態になる。この状態では、入射光6は反射板1で反射光7のように反射される。なお、図示していないが、反射板1が対向電極2と接触した場合に両者の電氣的短絡を防ぐため、反射板1と対向電極2の一方又は両方の接触する側の面に絶縁膜が形成される。

【0018】以上に述べたように、反射板1と対向電極2との間の電圧のON、OFFによって光の反射方向を切り替えて光を変調することができる。光の反射方向に、図示しない色フィルタやレンズなどを設けることで表示装置を構成することができる。また、電子写真装置の光書き込み系への応用も可能である。

【0019】さて、図1に示したような基本構成の光変調装置においては、反射板1の変位量を大きくするために反射板1と対向電極2の距離を大きくすると、前述のように反射板1と対向電極2の間に非常に大きな駆動電圧を印加しなければならない。本発明によれば、駆動電圧を増大させることなく反射板1の変位量を増加させ、あるいは、反射板1の所定の変位量を確保して駆動電圧の低電圧化を図ることができる。

【0020】以下、図1に示したような基本構成の光変調装置に本発明を適用した実施例を、図2及び図3を参照して説明する。

【0021】図2は、本発明による光変調装置の一実施例を示す概略断面図である。図2において、図1と同一の参照番号は同様の要素を示す。図2（a）は非駆動状態（電圧OFF時）を示し、図2（b）は駆動状態（電圧ON時）を示す。

【0022】本実施例では、電極基板3の凹部の内部に、反射板1と対向電極2との間のギャップ8を上下2つのギャップに仕切るように、薄い中間電極10が設けられる。この中間電極10は、例えば、その全体を金属のような導電性材料で形成してもよいし、絶縁性材料や半導体材料などで作られた薄い板もしくは膜の表面に金属などの導電性材料で電極を形成した構成としてもよい。また、中間電極10は、電極基板3と独立した部品として作成し、それを電極基板3の凹部の途中に設けた段部に接合してもよいが、電極基板3の製作過程で一般的な犠牲層プロセスなどを用いて中間電極10を形成してもよい。

【0023】以上のような構成において、反射板1、中間電極10、対向電極2のいずれの間にも駆動電圧を印加しない時（電圧OFF時）には、図2（a）に示すように、各電極は平行な状態であり、反射板1によって入射光4は反射光5のように反射される。

【0024】一方、対向電極2と中間電極10の間に、図示しない駆動回路から電圧を印加すると、静電気力に

よって中間電極 10 は対向電極 2 に向かって変位する。同様に、反射板 1 と中間電極 10 の間に、図示しない駆動回路から電圧を印加すると、静電気力によって反射板 1 は中間電極 10 に向かって変位する。中間電極 10 と対向電極 2 との間及び中間電極 10 と反射板 1 との間に静電気力は同等に作用するが、反射板 1 も中間電極 10 も薄く作られているので、中間電極 10 は変位しない対向電極 2 側に引き寄せられる結果、図 2 (b) に示すような状態となる。したがって、反射板 1 は入射光 6 を反射光 7 のように反射する。

【0025】本実施例の光変調装置における反射板 1 の絶対的変位量が図 1 の場合と等しいとすると、その絶対的変位量に比べ、中間電極 10 の変位量も、反射板 1 の中間電極 10 に対する相対的変位量も小さいため、電極間に印加する駆動電圧を図 1 の場合よりも下げることができる。逆に、図 1 の場合と同じ駆動電圧で駆動すれば、反射板 1 をより大きく変位させることができる。

【0026】本実施例では、反射板 1 と対向電極 2 の間に中間電極 10 が 1 つだけ設けられた。図示しないが、本発明の他の実施例によれば、反射板 1 と対向電極 10 の間のギャップ 8 を 3 つ以上に仕切るように、中間電極 10 と同様の中間電極が複数個設けられる。このように中間電極を複数個設けた構成によれば、電極間距離を短縮し、駆動電圧のさらなる低電圧化が可能であることは明白である。

【0027】なお、中間電極 10 と、反射板 1 又は対向電極 2 との接触による電氣的短絡を防ぐために（中間電極を複数設ける場合には他の中間電極との接触による電氣的短絡も防ぐために）、図示しないが、接触が想定される部分には少なくとも絶縁保護膜を形成するなどの絶縁手段が講じられる。

【0028】また、中間電極 10 を 2 つ以上設けた場合、反射板 1 と、それに最も近い中間電極 10 とからなる静電アクチュエータの特性が、反射板 1 の変位特性に最も大きな影響を与える。中間電極 10 を、絶縁性材料や半導体材料で作られた薄い板もしくは膜の表面に電極としての導電性材料の膜を形成した構成とする場合には、少なくとも反射板 1 に最も近い中間電極 10 については、その反射板 1 に対向する側の面に、電極としての導電性材料の膜を形成するのが好ましい。このようにすると、電極としての導電性材料の膜を反対側の面に形成した場合に比べ、反射板 1 とそれに最も近い中間電極 10 との距離を短くできる分、それらによって構成される静電アクチュエータの駆動電圧の低電圧化、駆動特性の向上を図ることができる。

【0029】さて、図 2 (b) においては、中間電極 10 と反射板 1 は、ともに静電気力を生じている相手方の電極に非接触であった（非当接駆動）が、さらに印加する駆動電圧を上げると相手方の電極に当接することになる（当接駆動）。当接駆動の場合、設計パラメータのバ

ラツキや駆動電圧の変動、その他の外部要因によって、反射板 1 が中間電極 10 に当接するよりも早く、中間電極 10 が対向電極 2 に当接してしまうことがある。その様子を図 3 に示す。

【0030】図 3 (a) では、反射板 1 が中間電極 10 に当接している様子を示している。この場合、その後に中間電極 10 を対向電極 2 側に変位させることになるが、中間電極 10 と対向電極 2 の距離は、初期状態（電圧 OFF 時）と同じであるので、駆動に不都合はない。

【0031】これに対し、図 3 (b) では、中間電極 10 が対向電極 2 に当接している様子を示している。この場合、その後に反射板 1 を中間電極 10 側に変位させることになるが、反射板 1 と中間電極 10 の距離は初期状態よりも大きくなっている。前述したように、静電気力は電極間の距離の 2 乗に反比例するので、図 3 (b) の状態では、図 3 (a) の状態に比較して、反射板 1 の駆動には大きな駆動電圧が必要になるという不都合がある。

【0032】このような不都合な状態を回避するため、本発明の光変調装置駆動方法によれば、反射板 1 の変位開始が、中間電極 10 の変位開始より遅れないように各電極への駆動電圧の印加タイミングを制御する。このような駆動方法によって、図 3 (b) のような不都合な状態を確実に回避し、低電圧による安定な駆動が可能となる。

【0033】本発明の光変調装置駆動方法は、反射板 1 と対向電極 2 の間に中間電極 10 が複数設けられた場合にも同様に適用できる。すなわち、反射板 1 の変形開始が、少なくとも反射板 1 に最も近い中間電極 10 の変形開始より遅れないように、各電極への駆動電圧の印加タイミングを制御することによって、図 3 (b) のような不都合を回避する。

【0034】このような駆動方法は、反射板や中間電極を当接駆動する場合に限らず、非当接駆動する場合にも適用できる。なお、反射板 1 や中間電極 10 の剛性に応じて、各電極への駆動電圧の印加タイミングを適切に調整するのが望ましい。

【0035】前述のように、中間電極 10 によって駆動電圧の低電圧化を図ることができるが、中間電極 10 の剛性が高く、その変形のために必要なエネルギーが大きいと、その駆動電圧の上昇を招く恐れがある。そこで、本発明の一実施例によれば、中間電極 10 の剛性が少なくとも反射板 1 の剛性よりも低くなるように中間電極 10 が形成される。このようにすれば、中間電極 10 の駆動電圧の低電圧化に有利であり、また、中間電極 10 で構成される静電アクチュエータの応答性も良好になる。

【0036】図示しないが、本発明の他の実施例によれば、中間電極 10 は誘電体で形成される。このような構成において、対向電極 2 と反射板 1 の間に電圧を印加すると、中間電極 10 の対向電極 2 側には対向電極 2 に引

かれる形で電荷が誘起し、電気双極子の働きによって、中間電極10の対向電極2と反対側にも逆極性の電荷が誘起することになり、したがって、反射板1と中間電極10との間にも電圧が発生するため、中間電極10に外部より電圧を印加したと同様の反射板1の駆動が可能となる。このように中間電極10は静電気を発生するための電極として作用するが、それ自体に外部より電圧を印加するための電極を設ける必要がなくなるため、中間電極10の構造が非常に単純になり、光変調装置の生産性、信頼性の向上に有利である。また、反射板1と対向電極2のみに駆動電圧を印加するだけでよいので、駆動

$$\Delta P = P_0 \cdot \Delta V / (V - \Delta V)$$

ここで、 P_0 はギャップ8内の初期圧力、 V はギャップの初期容積、 ΔV は反射板1の変位による容積変化量である。

【0039】このような反射板1の変位に伴うギャップ8内の圧力上昇、すなわちエアダンパ効果を低減し、駆動電圧の低電圧化と応答性の向上を達成するためには、ギャップ8の初期容積 V を増加させることが効果的である。

【0040】図2においては、中間電極10によりギャップ8は上下の2つのギャップに分割されている。分割された各々のギャップの合計容積が図1の場合のギャップ容積と同じであるとすると、分割された各々のギャップの容積は図1の場合よりも小さくなっており、前記(1)式で示したギャップの初期容積 V が小さくなってしまう。

【0041】そこで、本発明の一実施例によれば、図2に示すように、中間電極10に貫通穴12が設けられる。中間電極10が対向電極2側に変形した場合、変形に伴って圧縮された中間電極10と対向電極2の間のギャップ内の空気は貫通穴12を通過して反射板1側のギャップに移動するため、対向電極2側のギャップ内の圧力上昇を抑えることができる。この反作用によって、反射板1側のギャップ内の圧力が上昇してしまうが、各々のギャップが貫通穴12により連通することによってギャップ8内の圧力が平均化され、全体としてエアダンパ効果の増大を抑制することができるため、低電圧駆動が可能である。

【0042】なお、ギャップ8の内部に高誘電率の物質、例えばグリセリンや強誘電性液晶などを充填すると、静電アクチュエータの低電圧化には好ましいが、そのような物質は体積圧縮率が極めて小さいのでダンパ効果が顕著になる。したがって、ギャップ8には、体積圧縮率の小さな物質、例えば空気や不活性ガスなどの気体を充填するのが一般に好ましい。

【0043】また、図示しないが、本発明の他の実施例によれば、反射板1の少なくとも1辺は解放され、ギャップ8は反射板1によっては完全には封止されない。例えば、反射板1は、その一端のみで電極基板3に片持ち

のための回路を単純化することができる。このように反射板1と対向電極2にのみ駆動電圧を印加することによって光変調装置を駆動する方法も本発明に包含される。

【0037】さて、反射板1を変位駆動する場合、ギャップ8内部の空気が反射板1の変位に伴って圧縮され圧力が上昇し、反射板1がギャップ8内部の圧力で押し戻されるため、ギャップ8内部に空気がない条件で静的に計算して求めた反射板1の変位量よりも実際の変位量が小さくなってしまう。その圧力の上昇 ΔP は次式で示される。

$$\Delta P = P_0 \cdot \Delta V / (V - \Delta V)$$

(1)

保持される構成とされる。このような構成においても、エアダンパ効果は存在するため、中間電極10に貫通穴を設けることによるエアダンパ効果の低減に有効である。

【0044】また、図示しないが、本発明による他の実施例によれば、中間電極10も少なくとも1辺が解放される構成とされる。例えば、中間電極10は、その一端のみで電極基板3の凹部に片持ち保持される構成とされる。中間電極10の解放部分が前記貫通穴12と同様の作用をするため、格別の貫通穴を設けることなくエアダンパ効果の低減が可能である。

【0045】また、図示しないが、本発明の他の実施例によれば、中間電極10は多数の貫通穴を持つ網目状の構成とされる。

【0046】なお、前記各実施例の光変調装置を1つの素子として、複数の素子を1次元又は2次元に配列した装置も本発明に包含されることは当然である。

【0047】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、(1)請求項1乃至5記載の発明によれば、反射板の変位量を減らすことなく駆動電圧を下げることができ、あるいは、駆動電圧を上げることなく反射板の変位量を増大させることができる。(2)請求項2記載の発明は、反射板の変位特性に最も影響のある、反射板と、それに最も近い中間電極とで構成される静電アクチュエータの駆動電圧の低電圧化、駆動特性の向上を図ることができる。

(3)請求項3記載の発明によれば、中間電極そのものに外部から駆動電圧を印加するための電極を設ける必要がなくなり、中間電極の構造が非常に単純になるため、光変調装置の生産性、信頼性の向上に有利であり、また、中間電極に外部から駆動電圧を印加する必要がなくなるため、光変調装置の駆動回路を単純化することができる。(4)請求項4記載の発明によれば、中間電極の変形に要するエネルギーが小さくなるため、その駆動電圧の低電圧化に有利であり、また中間電極で構成される静電アクチュエータの応答性も良好にできる。また、

(5)請求項5記載の発明によれば、中間電極を設けたことによるエアダンパ効果の増大を抑えることができ

る。(6)請求項6記載の発明によれば、反射板とそれに対向する中間電極との距離が広がる現象を防止し、低電圧で安定な駆動が可能となる。(7)請求項7記載の発明によれば、第1の電極と第2の電極の間にのみ駆動電圧を印加するだけでよいので、光変調装置の駆動回路を単純化できる、等々の効果を得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用し得る光変調装置の基本構成の一例を示す概略断面図である。

【図2】本発明による光変調装置の一例を示す概略断面

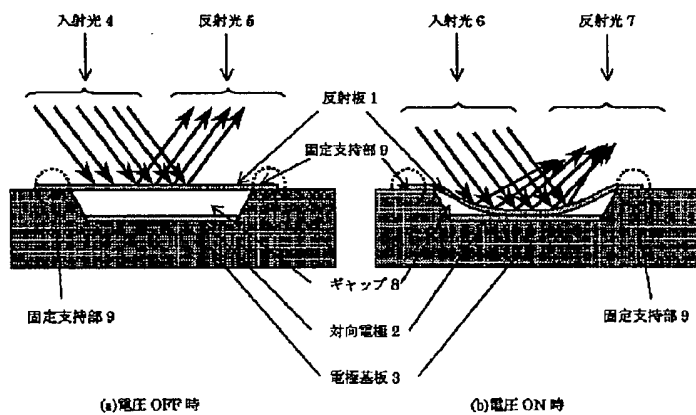
図である。

【図3】本発明による光変調装置の駆動方法を説明するための概略断面図である。

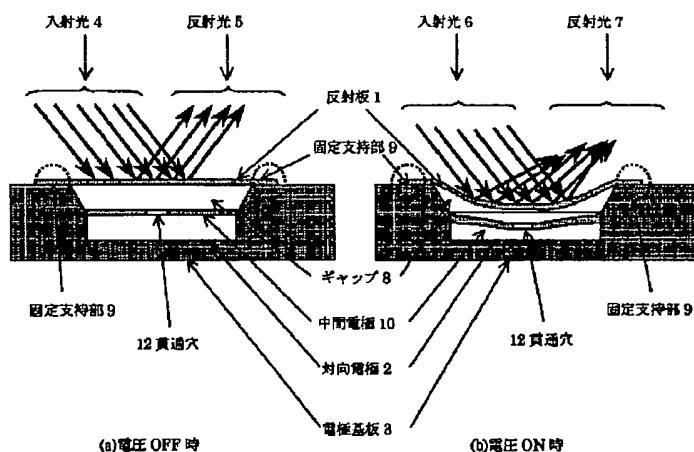
【符号の説明】

- 1 反射板 (第1の電極)
- 2 対向電極 (第2の電極)
- 3 電極基板
- 8 ギャップ
- 10 中間電極
- 12 貫通穴

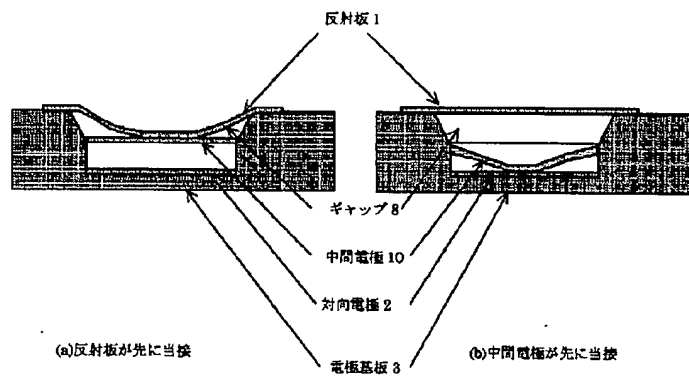
【図1】



【図2】



【図3】



THIS PAGE BLANK (USPTO)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-277771

(43)Date of publication of application : 25.09.2002

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

(21)Application number : 2001-080542

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 21.03.2001

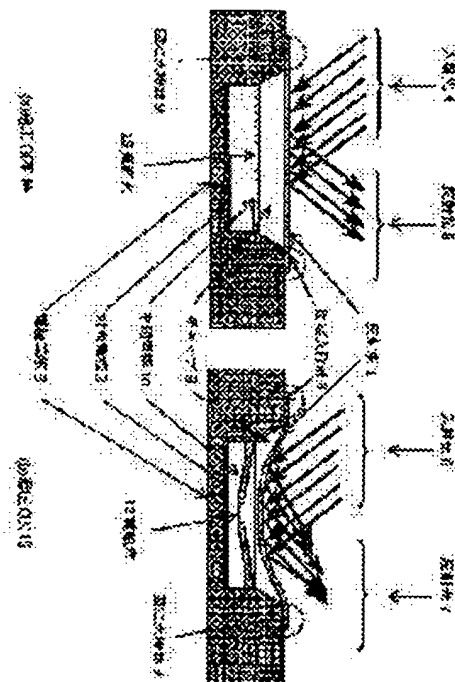
(72)Inventor : EGUCHI HIROTOSHI

(54) OPTICAL MODULATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize an electrostatic actuator system optical modulator to be driven by a low voltage.

SOLUTION: An intermediate electrode 10 to be displaced is arranged between a reflection board 1 and an opposite electrode 2 so as to constitute an electrostatic actuator between the reflection board 1 and the opposite electrode 2. A displacing amount being equal to that of the reflection board 1 is secured by a driving voltage which is lower than that in the case of the modulator without the intermediate electrode 10. Besides the amount of displacement of the reflection board 1 is increased by the same driving voltage.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]